

段ボール箱の圧縮強さ(1)

— Kellicutt 式の新定数提案 —

川端洋一*

Compression Strength of Corrugated Box (1) — Establishing of New Constants for Kellicutt's Equation —

Yoichi KAWABATA*

In Japan, Kellicutt's design formula is widely used to calculate the compressive strength of corrugated boxes. However, it is rather complex and its application is restricted only to single wall corrugated boxes, that is A, B, C flute. By generalizing the Kellicutt's flute constants (aX_2) and box factors (J) as variables for corrugated board thickness (h), I established new constants for every flute.

By this way, the simplified equation of predicting the compressive strength of double wall corrugated boxes as well as single wall corrugated boxes, was established.

Keywords : Kellicutt's equation, Compression strength, Corrugated box, Corrugated sheet thickness, Ring crush value, Box factor, Predicting equation, Perimeter

日本では、レンゴーを始め多くの会社が、段ボール箱の圧縮強さの推定のために、ライナの総合リングクラッシュ値を基本構成要素とした Kellicutt 式を利用している。しかし、Kellicutt 式は両面段ボールの A、B、C フルーツが対象で、複両面段ボールについては、五十嵐が A-B フルーツについて常数を設定しているだけである。フルーツの常数 (aX_2) と箱の常数 (J) を段ボールシートの厚さ (h) の変数として一般化し次式を誘導した。

$$aX_2 = 9.1287h^{1/2}, J = 0.7922h^{1/6}$$

これにより、A フルーツ、B フルーツ、A-A フルーツ、B-C フルーツ等について、Kellicutt 式の新常数を設定した。新たに設定した常数は、米国等の in、lb 単位系の国でも Kellicutt 式にそのまま使用する事ができ、段ボール箱の圧縮強さを推定する事が出来る。

また、Kellicutt 式を簡略化した Kellicutt-Kawabata 式の常数 (β) も段ボールシートの厚さ (h) に置き換える事が出来た。

$$P = R \cdot 1.3386h^{1/2} (L + W)^{1/3}$$

本式で、いかなるフルーツ構成でもその段ボール箱の圧縮強さの推定が可能となり、段ボール箱の圧縮強さ推定方式を確立した。

キーワード : ケリカット式、圧縮強さ、段ボール箱、段ボールシートの厚さ、リングクラッシュ値、箱の常数、推定式、周辺長

*レンゴー(株)包装技術センター (〒332 埼玉県川口市領家5-14-8) : RENGO CO. LTD. Package Engineering Center, 5-14-8, Ryoke, Kawaguchi-shi, Saitama, 332

1. はじめに

日本では多くの会社が、段ボール箱の圧縮強さの推定のために、段ボールライナの総合リングクラッシュ値を基本構成要素としたK. Q. Kellicutt式を利用している。

しかしながら、K. Q. Kellicutt式は両面段ボールのA、B、Cフルートが対象で、複両面段ボールのAB-、BC-フルートなどについてはK. Q. Kellicuttの報告¹⁾には記載されていない。

また、K. Q. Kellicutt式そのものもかなり複雑で、且つ常数が箱の常数Jの他にフルートの常数 aX_2 が使われている。

$$P = P_x \left\{ \frac{(aX_2)^2}{(Z/4)^2} \right\}^{1/3} ZJ \dots\dots\dots (1)$$

- P : 圧縮強さ (lb)
- P_x : 総合リングクラッシュ値 (lb/in)
- aX_2 : フルートの常数
- J : 箱の常数
- Z : 箱の周辺長 (in)

1969年川端はK. Q. Kellicutt式の定数を統合して単純な形に変換し、それをK-K式と名付け報告²⁾した。

$$P = R_x \beta (L + W)^{1/3} \dots\dots\dots (2)$$

- P : 圧縮強さ (kgf)
- R_x : 総合リングクラッシュ値(kgf/6in)
- β : フルートによる常数
- L : 箱の長さ (cm)
- W : 箱の幅 (cm)

統合された常数 β は次式で表せる。

$$\beta = [(2aX_2)^2 / 2.54]^{1/3} J / 3 \dots\dots\dots (3)$$

1981年五十嵐はK. Q. Kellicutt式におけるAB-フルートの常数 aX_2 と箱の常数Jを求めて報告³⁾している。

AB-フルートの常数 $aX_2 = 13.36$

箱の常数 $J = 0.55$

しかし、AB-フルートの常数 aX_2 の求め方は、A-フルートとB-フルートの常数 aX_2 をただ単に足した値で、K. Q. Kellicutt式の常数として使用するの是不適切である。何故なら、K. Q. Kellicutt式の常数 aX_2 は総合リングクラッシュ値と一致する圧縮強さを持つ段ボールの胴枠の平均幅寸法を意味する値であるからである。

K. Q. Kellicuttの圧縮強さ推定式は、その実用性が高い為に、多くの会社で使われてい

Table 1 Tentative box factors for A-, B-, and C-flute boxes

Source of boxes	Type of manufacturer's joint	Box factors (J) for boxes with flutes vertical in side walls*		
		Flute		
		A	B	C
Laboratory made from commercial material	Taped	0.717	0.752	0.717
	Stapled	—	0.622	—
Commercially made	Taped	0.677	0.597	0.667
	Stapled	—	0.564	—

*Box factors for boxes with flutes horizontal in side walls have not been determined

るものの、K. Q. Kellicuttの報告⁴⁾でも、かなりばらついた常数 (Table 1 参照) であったものが仮に決められて、その後の報告¹⁾で決められた常数では、B-フルートの箱の常数JとC-フルートの箱の常数Jは同一の値0.68が使われている等各フルートの常数の間にあまり整合性がなく、そのまま使われている。この問題点を解決すべく検討を行った。

2. 常数の一般化

前述の K-K 式 (Kellicutt - Kawabata 式) で使った統合された常数 β を求める式 ((3) 式) を使って各フルートの常数を統合すると、Table 2 が得られる。

Table 2 Constant β and thickness of sheet (h)

	AF	BF	CF	ABF
h (cm)	0.5	0.3	0.4	0.8
β	0.9425	0.7711	0.8804	1.2009

この統合されたフルートの常数 β と段ボールシートの厚さ (h)^{cm} とは、Fig. 1 に示すように高い相関性があり、フルートの常数 β はシートの厚さ (h) の平方根に比例している。

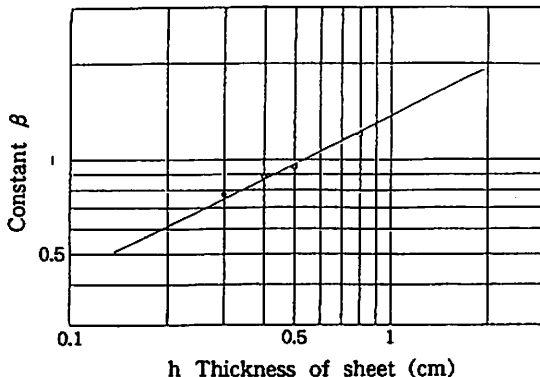


Fig. 1 Relationship between thickness of sheet h and constant β in the K-K's equation

この Fig. 1 から、次式が得られた。

$$\beta = 1.3386h^{1/2} \text{ ----- (4)}$$

β : 統合されたフルートの常数
 h : 段ボールシートの厚さ (cm)

この式を用いて新たに計算して β を求めると Table 3 が得られる。 α : 段繰率

Table 3 Thickness of sheet h and constant β in K-K's equation

Flute	h ^{cm}	aX ₂	J	α	β	1.3386h ^{1/2}
AF	0.5	8.36	0.59	1.523	0.9425	0.9465
BF	0.3	5.00	0.68	1.361	0.7711	<u>0.7332</u>
CF	0.4	6.10	0.68	1.447	0.8804	<u>0.8466</u>
AB F	0.8	13.36	0.55	2.884	1.2009	1.1973

h : Thickness of sheet, aX₂ : Constant, J : Box factor, α : Take-up ratio, β : Constant

Table 2 の値に較べると、B-フルートとC-フルートの場合がやや小さい値が出るが、K. Q. Kellicutt 式とほぼ同じ推定圧縮強さが得られた。

3. 常数変更提案

K. Q. Kellicuttの段ボール箱圧縮強さ推定式において、箱の常数Jは胴の接合の形式に依存する段ボール胴枠と段ボール箱の圧縮強さの比例常数である。従って、総てのフルートに共通の常数のようにも考えられるが、B-フルートとC-フルートの場合では同じ0.68だが、A-フルートの場合ではやや小さく0.59である。つまりフルートに依存する常数である。それにも関わらず、B-フルートとC-フルートの場合に同じである事は矛盾している。

そこで、前項で得られた統合された常数 β

Table 4 New constants of Kellicutt and new constants of K-K's equation of different kinds of flute

Flute	h ^{cm}	aX ₂	J	α	β →→→ β	
EF	0.2	4.08	0.61	1.270	0.5986	0.60
BF	0.3	<u>5.00</u>	0.65	1.361	0.7371	0.74
CF	0.4	5.77	<u>0.68</u>	1.447	0.8484	0.85
AF	0.5	6.46	0.70	1.523	0.9416	0.94
BB F	0.6	7.07	0.73	2.722	1.0368	1.04
BC F	0.7	7.64	0.75	2.808	1.1199	1.12
AB F	0.8	8.17	0.76	2.884	1.1956	1.20
AC F	0.9	8.66	0.78	2.970	1.2699	1.27
AA F	1.0	9.13	0.79	3.046	1.3386	1.34

h : Thickness of sheet, aX₂ : Constant, J : Box factor, α : Take-up ratio, β : Constant

の式を使って、新たにフルートの常数 aX₂ と箱の常数 J を逆算して求めると、Table 4 が得られた。α : 段繰率

$$\beta = [(2aX_2)^2 / 2.54]^{1/3} J / 3$$

$$\beta = 1.3386h^{1/2} \dots\dots\dots (5)$$

なお、この場合、aX₂ は原式の常数の中で整数である B-フルートの 5.00 を基準とし、それに対応する常数 J が同じ数値である C-フルートの 0.68 を基準としている。

$$aX_2 = 9.1287h^{1/2} \dots\dots\dots (6)$$

$$J = 0.7922h^{1/6} \dots\dots\dots (7)$$

上式を使って、フルートの種類による圧縮強さの推定式の常数を、新たに計算して求めた結果を Table 4 に示す。

ここで得られた新常数の aX₂ と J は米国の in, lb 単位系でも K. Q. Kellicutt の原式にそのまま使用でき、段ボール箱の圧縮強さを推定する事が出来る。

K. Q. Kellicutt 式の常数 aX₂ は総合リングクラッシュ値と一致する圧縮強さを持つ段ボールの胴枠の平均幅寸法を意味する値で、複両面段ボールの場合、構成段ボールの aX₂

の和では両面、複両面の整合性がない。

Table 4 の新フルート常数 aX₂ について A-フルートの値と B-フルートの値の平方和を開平すれば、A-Bフルートの新フルート常数が得られる。同様に、その他の複両面も

$$A - B \text{ F} \dots\dots\dots \sqrt{(6.46)^2 + (5.00)^2} = 8.17$$

$$B - C \text{ F} \dots\dots\dots \sqrt{(5.00)^2 + (5.77)^2} = 7.64$$

$$B - B \text{ F} \dots\dots\dots \sqrt{(5.00)^2 + (5.00)^2} = 7.07$$

$$A - C \text{ F} \dots\dots\dots \sqrt{(6.46)^2 + (5.77)^2} = 8.66$$

となる。五十嵐の求めた A-Bフルートの常数 aX₂、13.36 は単なる和であるが、新常数の aX₂、8.17 は両面、複両面の整合性がある。

更に、従来の K. Q. Kellicutt 式の欠点であった特定のフルート (A, B, C 及び AB) 以外でもその圧縮強さを推定する事が出来た。特に、最近海外調達先として盛んに進出している東南アジアでは、BCフルートを使用するケースが多く、その圧縮強さ推定式の誘導は、輸送包装設計上どうしても必要であったが、本式の活用によって問題が解決された。

4. K-K 式の簡略化

K-K 式の統合された常数 β が段ボールシートの厚さ h の平方根に比例することから、K-K 式の常数 β も省略して、段ボールシートの厚さ h に置き換えることが出来る。

$$P = 1.3386R_x h^{1/2} (L + W)^{1/3} \dots\dots\dots (8)$$

- P : 圧縮強さ (kgf)
- R_x : 総合リングクラッシュ値 (kgf/6in)
- h : 段ボールシートの厚さ (cm)
- L : 段ボール箱の長さ (cm)
- W : 段ボール箱の幅 (cm)

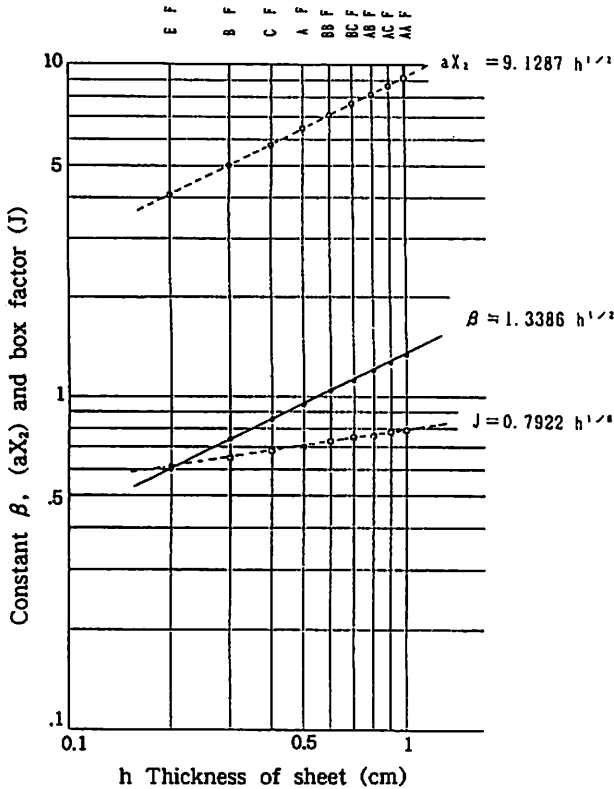


Fig. 2 Relationship between sheet thickness and new constant

こうして得られた更に簡略化したK-K式は常数1.3386のみでいかなるフルート構成でもその段ボール箱の圧縮強さを推定することが可能となった。

5. おわりに

段ボール箱の圧縮強さ推定式として良く使われているK. Q. Kellicuttの式の常数に着目して、その整合性のなさや汎用性の不備を段ボールシートの厚さの要素を取り入れる事で解決した。

そして新たにK. Q. Kellicuttの式の常数を提案した。その結果、東南アジア等で多く使

われているBCフルート等の段ボール箱の圧縮強さの推定を可能とし、輸送包装の設計を容易にした。

また、提案したK. Q. Kellicuttの式の新常数は、米国等のin、lb単位系の国でもK. Q. Kellicutt式にそのまま使用でき、段ボール箱の圧縮強さを推定する事が出来る。

更に、段ボール箱の圧縮強さは段ボールシートの厚さの平方根に比例する事から、新しく(Kellicutt-Kawabata)式の簡略化を進めていかなるフルート構成でもその段ボール箱の圧縮強さを推定する事が出来た。

最後に本研究及び発表の機会を与えて頂いたレンゴー株式会社に深く感謝する。

<引用文献>

- 1) K. Q. Kellicutt, E. F. Landt, "Basic Design Data for the Use of Fiberboard in Shipping Containers. Box Strength Calculator" (No. R1911-A), United States Department of Agriculture Forest Service Forest Products Laboratory, Dec.,(1952)
- 2) 川端洋一、包装技術関係機関合同会議、第二回研究発表会、p.8 (1969)
- 3) 五十嵐清一、月刊段ボール、(246)、38 (1981)
- 4) K. Q. Kellicutt, E. F. Landt, "Basic Design Data for the Use of Fiberboard in Shipping Containers" (No. D1911), United States Department of Agriculture Forest Service Forest Products Laboratory, Nov.,(1951)

(原稿受付1996年10月9日)

(審査受理1997年1月6日)